

현장타설 철근콘크리트 끼움벽의 전단강도

Shear strength of Cast-In Place R/C Infill Shear Wall

최창식* 이혜연** 김선우*** 윤현도****
 Choi, Chang Sik Lee, Hye Yeon Kim, Sun Woo Yun, Hyun Do

ABSTRACT

The aim of Cast-In-Place(CIP) method is to upgrade the strength, ductility and stiffness of the structure to the required level. The main objective of this research is to investigate the shear and the flexural strength of reinforced concrete frames infilled with CIP reinforced concrete wall. For this three 1/3 scale, one-bay, one story reinforced concrete infill wall were tested under reversed cyclic loading simulating the seismic effect. Results of tests of CIP shear wall were reviewed to evaluate the current design provisions and to establish the feasible retrofitting method.

1. 서론

기존 건물의 내진성능을 평가하여 현재 기준에 적합하지 않을 경우에는 내진보강을 통한 내진성능 향상이 요구된다. 보강공법에는 강도향상 방법과 연성능력의 향상 방법, 그리고 양자를 병행하여 내진성능을 향상시키는 방법이 있다. 내진보강 방법 및 보강 요소를 그림 1에 나타내었다. 이러한 내진보강 방법 중 현장타설(Cast-in-place, CIP) 벽을 증설하는 방법은 건물의 수평내력을 상승시키기 가장 적합한 보강방법으로 소량의 벽을 보강하는 것으로도 내진성능을 크게 향상시킬 수 있다. 특히 일본에서는 끼움벽에 대한 연구가 집중적으로 이루어져 왔으며 그림 2와 같이 골조 내에 철근콘크리트 끼움전단벽을 보강하는 기법이 가장 폭넓게 적용되고 있다.

그러나 끼움벽에 의한 내진성능 규명에 대한 연구가 아직 미진한 실정이며 국내 콘크리트구조설계 기준의 근간이 되는 ACI 기준에서도 끼움벽과 같은 기존골조의 보강 전단벽에 대한 별도의 전단강도의 설계규정이 제시되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 현장타설 끼움벽에 대한 전단강도 평가를 위하여 일본 증설벽 내진보강설계 및 시공지침⁽¹⁾에 의하여 산정된 전단강도 및 휨강도의 계산결과와 실험결과를 비교·검토한다. 아울러 현장타설 끼움전단벽의 전단강도를 산정을 통한 끼움전단벽 구조설계 기법 및 개념정립을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

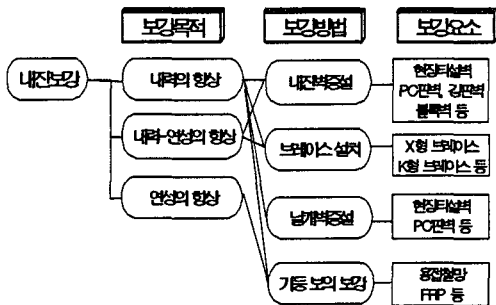


그림 1 내진보강 공법의 종류⁽²⁾

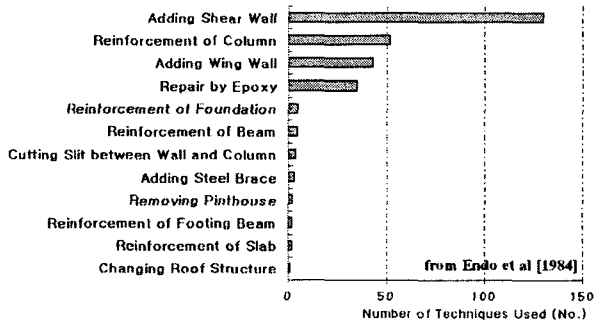


그림2 일본의 내진보강기법 적용사례

* 정회원, 한양대 건축대학 건축공학부 교수, 공학박사
 ** 정회원, 대전대 대학원 석사과정
 *** 정회원, 충남대 대학원 석사과정
 **** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

2. 현장타설 끼움 전단벽의 전단강도식⁽¹⁾

일본의 경우 AIJ규준 외에도 증설벽에 관한 별도 지침을 가지고 있으며 증설벽의 전단강도 및 내력에 관하여 아래와 같이 규정하고 있으며 끼움벽의 시공방법 및 품질관리에 관하여도 상세하게 나타나고 있다. 이 기준의 적용대상 끼움벽은 다음과 같이 제한된다.

- 기존 기둥 및 보와의 앵커 시공 시 접착제 앵커를 사용한다.
- 끼움벽 시공 시 상부 보 하단에서 20cm 남기고 벽체 콘크리트를 타설한 후 상부에 무수축 모르타르를 주입한다.

이 기준에서는 철근콘크리트 증설벽의 종국전단내력 wQ_{suo} 은 식(1)과 같이 wQ_{su} 와 wQ_{suo} 중 작은 값으로 산정한다. 여기서 wQ_{su} 는 식 (2)에 의한 일체 타설벽의 종국전단내력, wQ_{suo} 는 접합내력을 고려한 종국전단내력이며 식 (3)과 같이 Q_{ju} :상부보와 벽체간 접합내력, ΔQ_{wu} :벽체의 압축 스테럽 효과에 의한 전단내력성분, pQ_c :인장축 기둥의 편칭 전단내력 및 Q_{cu} :압축축 기둥의 종국내력의 총합으로 이루어진다.

$$wQ_{suo} = \min (wQ_{su}, wQ_{suo}) \quad (1)$$

$$wQ_{su} = \{0.053pt_e^{0.23}(17.6 + F_{c1})/[M/(QL) + 0.12] + 0.845\sqrt{(p_{se}\sigma_{sy}) + 0.1\sigma_{oe}}\}b_ej_e \quad (2)$$

단, $1 \leq M/(QL) \leq 3$

$$aQ_{suo} = Q_{ju} + \Delta Q_{wu} + pQ_c + aQ_{cu} \quad (3)$$

여기서, $pt_e = ah/b_e s$:등가인장철근비(%), L:내진벽 전장, $b_e = \Sigma A/L$:등가폭, ΣA :내진벽의 전체 단면적, a_t :인장축 기둥 주근의 전체 단면적, $p_{se} = a_h/b_e s$:등가 횡근비, a_h, s :횡근 1조의 단면적 및 배근간격, σ_{sy} :횡근의 항복강도, F_{c1} :기존 콘크리트의 설계용 압축강도, $\sigma_{oe} = \Sigma N/(b_e L)$:축방향 응력 ($\sigma_{oe} \leq 8N/mm^2$), ΣN :벽축력, $j_e = \sigma_w$ 또는 $0.8L$ 로 해도 좋다. σ_w :양축 기둥 중심간거리, $M/Q = H_{wo}$:RC증설벽 반곡점의 높이이다.

그리고 식(3)에서 $Q_{ju} = \tau_{au}\Sigma a_a$, $\Delta Q_{wu} = \Delta q_{wu}F_{c2}(l_{wo} - l_o)t_w$, $pQ_c = k_{min} \cdot \tau_o \cdot b_e \cdot D_c \cdot s \cdot Q_u$, $Q_{cu} = (cQ_{mw} + cQ_{su})$ 로 산정한다.

3. 실험결과 및 분석

현재 끼움 전단벽의 내진성능 평가를 위하여 연구 중인 개구부가 없는 현장타설 끼움벽 실험체의 실험결과⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾와 기준식의 비교 분석을 통하여 현장타설 끼움벽의 종국 휨내력 및 전단내력을 알아보고자 한다. 실험체는 그림 3과같이 철근콘크리트 끼움벽체를 1/3 크기로 축소하여 제작하였으며 축하중은 $N/F_{ck}A_g = 0.1\%$ 로 282kN을 일정하게 가력하고 수평하중은 시험체에 맞추어 제작한 가력철물을 통하여 동일 변위각에서 3회 반복하여 점중 가력하였다. 그림 4는 실험체별 강도저하곡선을 나타낸 것으로 기존골조와 비교하여 끼움벽 보강 후 3배 정도 강도가 증가하여 내진보강의 효과가 높게 나타났다. 표 1에 실험체별 실험결과를 비교하여 정리하였다.

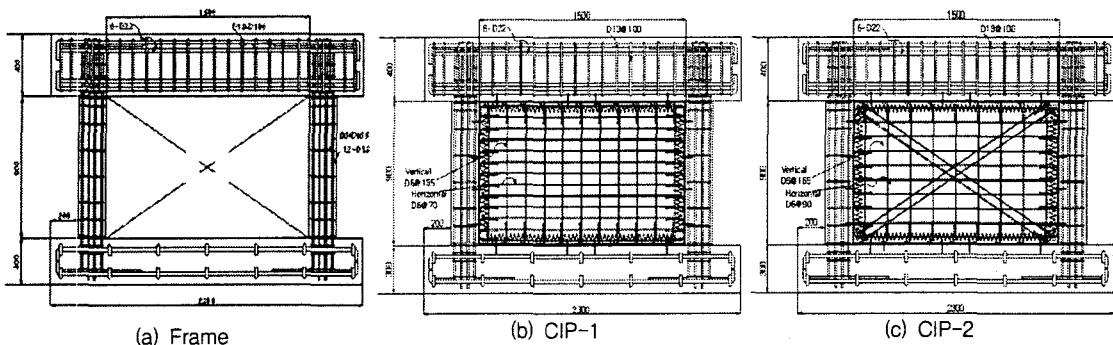


그림 3 실험체 배근도 (단위 : mm)

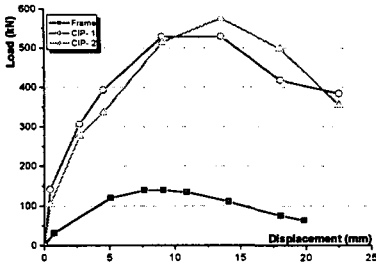


그림 4 실험체별 강도비교

표 1 끼움벽체의 변위연성 및 강도실험결과 비교

실험체	V_y (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	R_y (rad.)	ID_i (%)
Frame	55.9	139.9	1.34	9.09	6.77	0.0015	1.0
CIP-1	141.7	528.4	0.45	9.00	20.00	0.0005	1.0
CIP-2	148.4	575.1	0.90	13.5	15.00	0.0010	1.5

V_y :항복하중, V_{max} :최대하중, Δ_y :항복변위, Δ_u :최대변위, $\mu = \Delta_y / \Delta_u$:변위 연성비, R_y :항복부재각, ID_i :층간변위비

표 2 중국내력 계산값과 실험값

실험체	Q_{max} (kN)	중국내력 계산값						Q_{max} / wQ_{su}	Q_{max} / aQ_{suo}
		wQ_{su} (kN)	wQ_{su2} (kN)	aQ_{suo} (kN)	wQ_{mu} (kN)	wQ_{su} / wQ_{mu}	aQ_{suo} / wQ_{su}		
CIP-1	528.4	730.9	214.2	621.1	929.1	0.79	0.85	0.72	0.85
CIP-2	575.1	769.8	214.2	635.1	930.6	0.83	0.83	0.74	0.91

Q_{max} :실험결과, wQ_{su} :일체타설벽의 중국전단내력, wQ_{su2} :벽판 자체의 전단내력, aQ_{suo} :접합내력을 고려한 중국전단내력, wQ_{mu} :중국휨내력

3.1 중국 휨내력의 평가

끼움벽의 중국휨내력 wQ_{mu} 는 벽체 수직근의 응력과 앵커의 뽑힘강도에 의하여 지배되므로 끼움벽의 휨내력 산정시에는 앵커근에 의하여 제한되는 벽체 수직근의 유효율($\gamma_a \beta_v$)을 고려하여 산정한다.

그림 5에는 휨내력 산정식 및 접합내력을 고려한 중국전단내력의 산정식과 실험값의 관계를 나타내었다. 끼움 전단벽의 최대내력이 중국전단내력에 의해 지배되는 경향을 보이기 때문에 전단력에 비하여 높게 산정되었다. 그러나 본 실험결과와 비교하여 현저한 차이가 나타나 이에 따른 유효율의 검토가 필요할 것으로 사료된다.

끼움벽 최대 내력시의 벽체 수직철근의 최대변형(ϵ_{wv})의 분포를 그림 6에 나타내었다. 최대 내력시의 벽체 수직철근 평균 변형률은 벽철근 항복변형도(ϵ_y)에 대해서 CIP-1에서는 1/2정도, CIP-2에서는 1/4정도 값이다. CIP-2 실험체의 대각선 보강철근에 의한 벽체의 저항력이 높아지면서 동일위치(WV-2)의 변형률에서도 큰 차이를 보이고 있었다.

3.2 중국 전단내력의 평가

중국전단내력은 일체타설벽의 전단내력(wQ_{su})과 앵커볼트 접합내력을 고려한 전단내력(wQ_{suo})중 작은값을 산정하도록 되어있다. 실험값과 계산값을 비교하여 그림 5의 $Q_{max} - aQ_{suo}$ 의 관계를 나타내었다. 실험값에 비하여 계산값의 전단강도가 CIP-1의 경우 17%, CIP-2의 경우 10% 높게 산정되었는데 이는 시공성이나 앵커볼트의 부착력 등의 오차에 의하여 발생한 것으로 사료된다.

일본 건축종합시험소의 기존 연구결과⁽⁴⁾를 통하여 증설벽의 내력과 앵커근 비 및 벽체 콘크리트 강도의 관계를 그림 7에 나타내었다. FW-1~4 실험체는 순서대로 0.8, 0.4, 0.2, 0.4%의 앵커근비를 갖으며 W-5실험체는 0.4% 앵커근비와 $f_{ck} = 36\text{Mpa}$ 의 성질을 갖는다. 그래프에서 보면 최대 내력이 높을수록 앵커근량이 적을수록 전단균열의 발생시기가 늦어진다. 여기서는 앵커근량 $\beta_a P_a = p_a \sigma_{ay} / \sigma_{B2}$ (p_a : 앵커량, σ_{ay} : 앵커근의 항복강도, σ_{B2} : 기존 콘크리트의 설계용 압축강도)로 산정하나 벽체 콘크리트 강도는 과소평가하게 되어 큰 관계를 보이지 않는다. 그리고 벽체의 강도가 높을수록 증설벽의 최대내력이 증가하는 경향을 보이지만 앵커량이나 벽체 강도에 크게 좌우되지 않는 것으로 나타났다.

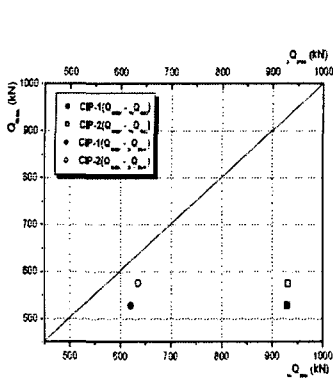


그림 5 $Q_{max-w} - Q_{max-a}$ 및 $Q_{max-w} - Q_{max-a}$ 관계

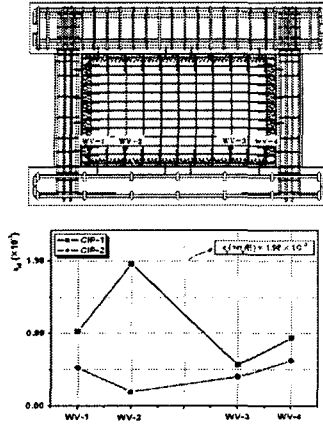
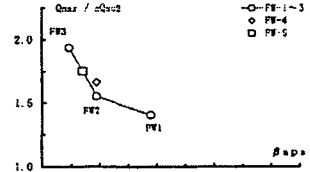
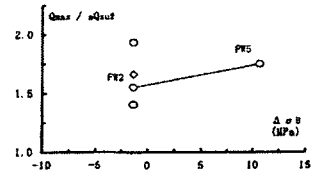


그림 6 최대내력 시 벽 수직철근의 변형률



(a) 앵커근량의 영향



(b) 증설벽 콘크리트 강도의 영향

그림 7 증설벽 $Q_{max}/\alpha Q_{su2}$ 에 대한 실험인자의 영향

4. 결론

본 연구에서는 현장타설 끼움벽의 전단내력을 평가하기 위하여 실험식과 계산식을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 현장타설 끼움벽은 기존골조의 내진성능의 향상을 위한 보수·보강 공법으로서 기존골조에 벽체의 추가로 인하여 보강 전과 비교하여 연성적인 거동을 보이며 강도는 Frame실험체와 비교하여 CIP-1의 경우 2.7배, CIP-2의 경우 4.1배 향상되는 것으로 나타났다.
- 2) 끼움 전단벽의 파괴양상은 전단내력에 의해 지배되는 양상을 보이며, 인장축 기둥 머리부분의 균열 폭이 확대됨과 동시에 증설벽 계면의 미끄럼 변형이 현저해서 내력이 저하되는 양상을 보였다.
- 3) 실험값과 계산값을 비교하였을 때 계산식의 중국전단내력은 CIP-1의 경우 17%, CIP-2의 경우 10% 가 실험값보다 높게 산정되었다. 추후 끼움벽에 관한 기존 실험결과와 함께 내력평가식의 타당성을 분석해야 할 것으로 사료된다.
- 4) 끼움벽의 최대 내력시 벽체의 철근 변형 분포를 분석한 결과 CIP-1의 평균 변형율은 벽철근 최대 변형도의 1/2, CIP-2의 경우 1/4의 변형율을 나타냈으며 동일 위치에서도 변형율의 차이가 크게 나타나 대각보강으로 인한 벽체의 내력분포가 변화함을 알 수 있었다.
- 5) 끼움 전단벽은 시공자의 기술에 따라 기존 골조와 끼움벽간의 부착성이 결정되는 문제점이 있어 일본과 같이 현장타설 끼움벽의 일반적인 거동이나 강도를 확보하기 위한 두 부재간의 효율적인 접합방법 등에 관한 지침이 알려진다면 더욱 경제적이고 편리한 시공방법으로써 이용될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단에서 시행한 2004년도 목적기초연구사업 지역대학우수과학자지원연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.(과제번호 : R05-2004- 000-11136-0)

참고문헌

1. (財)日本建築総合試験所 構造部 “鐵筋コンクリート増設壁耐震補強設計及び施工指針”, September 2001.
2. Sugano, S., "Guidelines For Seismic Retrofitting (Strengthening, Toughening, and/or Stiffening), Design of Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, Michigan, May 1981, pp.189~246
3. Altin, S., Erosy, U., and Tankut, T., "Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", Report No. METU/SML-90/01, Civil Engineering Dept., Middle East Technical University, Ankara, Turkey, June, 1990.
4. (財)日本建築総合試験所 構造部 “無開口RC増設壁の實驗報告”, 鐵筋コンクリート増設壁耐震補強設計及び施工指針付屬資料“, September 2001, PP.付.1-1~14
5. 최창식, 윤현도, 한병찬, 김선우, 이해연, “현장타설 끼움벽으로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 내진거동”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권 제2호, pp.453~456
6. 최창식, 윤현도, 김재건, 한병찬, 김선우, 이해연, “개구부가 있는 현장타설 끼움벽의 내진성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제24권 제2호, pp.167~170